

Metafore visive per l'energia. Ergolandia, la valigia didattica per introdurre l'energia come tema verticale dalla scuola dell'Infanzia alla Scuola Secondaria di primo grado.

Federico Corni – Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

Hans U. Fuchs - Zurich University of Applied Sciences at Winterthur

Abstract

La percezione dei processi naturali porta alla formazione della gestalt della forza. Questa gestalt è resa cosciente e accessibile alla mente umana con l'aiuto di *metafore* e *storie*.

Le forze della natura (vento, acqua, fuoco, ghiaccio, cibo, suolo, moto...) ci appaiono – e sono concettualizzate – come *agenti potenti*. Questi agenti hanno dimensione e intensità, e il loro potere può essere misurato in termini di *energia*.

Sadi Carnot ha dimostrato che si può creare una scienza del calore usando le metafore di *quantità di fluido*, *tensione*, e *potenza*. Mostreremo come questo archetipo può essere generalizzato e come si possono costruire diagrammi di processo in termini di metafore visive.

Descriveremo poi come questo paradigma è sviluppato didatticamente, per l'educazione scientifica degli alunni dalla scuola dell'infanzia alla secondaria di primo grado, nella Valigia Ergolandia del progetto Max's Worlds di MultiLab.

1. Metafore visive per l'energia

L'immagine delle cascate di Sadi Carnot

E' piuttosto comune al giorno d'oggi considerare i processi fisici come il risultato del moto di particelle microscopiche nello spazio vuoto o in campi gravitazionali o elettrici e magnetici. In questo approccio alle scienze fisiche, l'energia è fondamentalmente energia di movimento, il che porta a una visione fortemente ristretta di quello di cui abbiamo a che fare.

Se, invece, adottiamo l'idea di forze della natura agenti e interagenti nei processi naturali, possiamo creare una visione generalizzata del ruolo dell'energia nei processi fisici basata su strutture metaforiche fondamentali della mente umana. Questo approccio è stato formalizzato durante i primi sviluppi della scienza dei motori termici (Carnot, 1824).

In sintesi, noi guardiamo i processi come il risultato di azione e interazione di forze della natura come i fluidi, l'elettricità, il calore, le sostanze, o il moto. Forze diverse sono concettualizzate in modo analogo: ciascuna è percepita come avente una *dimensione* (un aspetto quantitativo), una *intensità* (a aspetto qualitativo), e una *potenza*, espressa principalmente quando due forze interagiscono. Un esempio è quando il vento muove una turbina eolica – un fluido interagisce con il moto rotatorio.

Sadi Carnot ha usato l'immagine di forza della natura per descrivere e quantificare la *forza motrice del calore nei motori termici* – in un motore a vapore, calore e moto interagiscono e assumono il ruolo di potenza di una forza, a con esso, rendono visibile l'energia. Per arrivare a questa visione di come il calore agisce come forza della natura, Sadi Carnot ha usato un ragionamento analogico: un motore a vapore lavora come una cascata che muove una ruota ad acqua. Queste sono le sue parole:

D'après les notions établies jusqu'à présent, on peut comparer avec assez de justesse la puissance motrice de la chaleur à celle d'une chute d'eau [. . .]. La puissance motrice d'une chute d'eau dépend de sa hauteur et de la quantité du liquide; la puissance motrice de la chaleur dépend aussi de la quantité de calorique employé, et de ce qu'on pourrait nommer, de ce que nous appellerons en effet la hauteur de sa chute, c'est-à-dire de la différence de température des corps entre lesquels se fait l'échange du calorique. (Carnot, 1824).

I processi sono spieganti in termini di *differenze di livello*, che sono percepite come *tensioni*, e *quantità fluide che fluiscono verso il basso* o sono *pompate verso l'alto* attraverso queste differenze. Quando un fluido fluisce verso il basso, rende disponibile l'energia; quando è pompato verso l'alto, l'energia deve essere disponibile per essere usata dal processo che viene causato. Queste parole sono metaforiche e sono state rappresentate con metafore visive (Fuchs, 2010, Capitolo 2). In Figura 1 sono riportati alcuni esempi dei cosiddetti diagrammi di processo che si avvalgono di queste metafore visive.

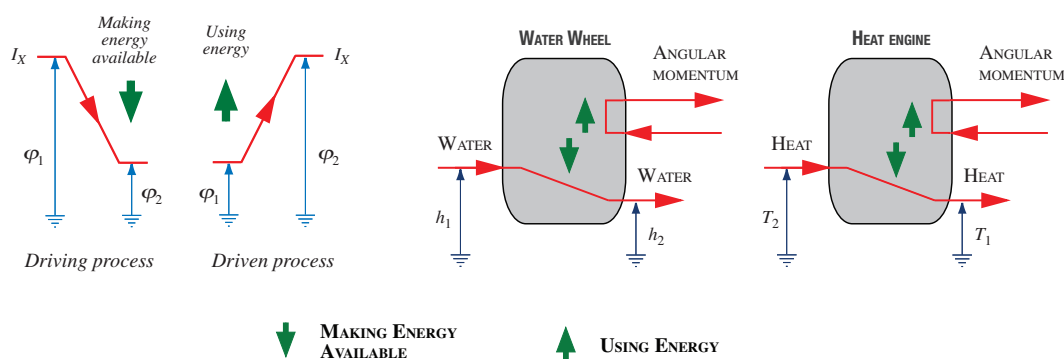


Figura 1: Sinistra: Rappresentazione metaforica visiva di processi. Centro e destra: Applicazione all'interazione di due forze (Centro: ruota ad acqua; Destra: motore termico).

Quantificazione della potenza

Possiamo usare la logica elementare implicata nel pensiero metaforico per quantificare la potenza di una forza della natura considerando l'immagine di una cascata (Figura 2). Quando l'acqua cade da una certa altezza, è chiaro che la potenza della cascata deve essere proporzionale alla dimensione del flusso d'acqua. Inoltre, sapendo che la differenza di altezza è la tensione della forza dell'acqua, la potenza dell'acqua dovrà essere proporzionale anche a questa tensione. Perciò, abbiamo:

Potenza di una forza = Tensione moltiplicata per Flusso di quantità di fluido

Si ricordi che la quantità di fluido determina l'aspetto di "dimensione" di una forza della natura. Per ogni forza, c'è questa *quantità di fluido*. E per ogni quantità di fluido, c'è una particolare differenza di livello o *tensione*.

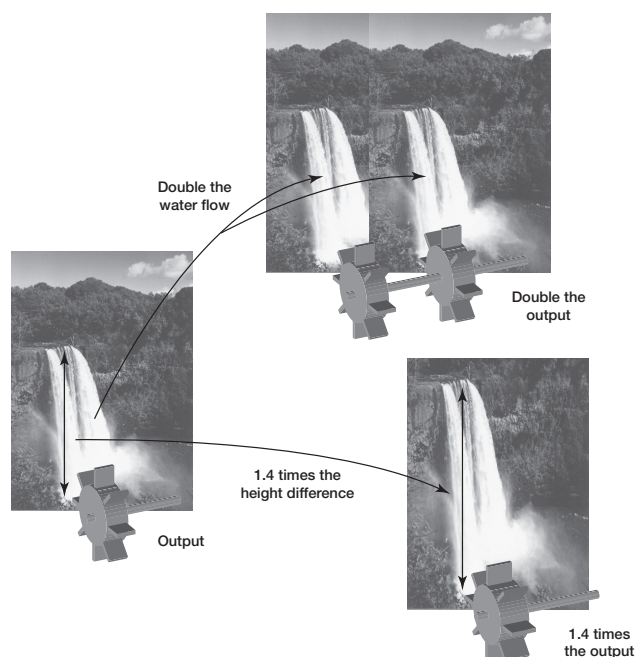


Figura 2: Una cascata che muove una ruota idraulica serve a quantificare in modo semplice la potenza di una forza della natura in termini della potenza di una caduta d'acqua

L'energia non è un problema

Un importante aspetto che ci aiuta a capire il ruolo dell'energia nei processi naturali è il seguente. Parliamo spesso di creare e sprecare energia, e sappiamo che l'energia non è sempre disponibile, facendoci pensare a crisi energetiche e cose simili. Quando studiamo la fisica, ci viene detto, invece, che l'energia non può essere né creata né distrutta – c'è sempre la stessa quantità di energia nel mondo. Perciò, l'energia non può essere un problema: c'è sempre tutta.

Ma qual è in realtà il problema? Gli Egiziani sapevano già cosa serve per far andare avanti il mondo: ci vogliono una *differenza di livello*, una *tensione*, e il *flusso* di qualcosa da più alti a più bassi livelli. Un *primo processo deve creare una tensione*, poi il resto segue quasi da solo...

Nella storia della moderna cosmologia, l'evento che creò la tensione per noi sulla Terra fu la formazione del Sole.

Proprietà dell'energia

Finora abbiamo dato all'energia una sola proprietà: è la quantità che viene resa disponibile (nella caduta di una quantità di fluido) o utilizzata (nel pompaggio di una quantità di fluido). Il tasso con cui l'energia è resa disponibile o usata è la misura della *potenza di una forza della natura*.

Dobbiamo attribuire all'energia due ulteriori proprietà, e in più assumere, come fanno i fisici, che non possa né essere creata né distrutta. Le due proprietà sono il *trasporto* e l'*immagazzinamento* dell'energia. Queste caratteristiche si possono rappresentare

nei diagrammi di processo utilizzando le metafore visive introdotte in precedenza (Figure 3 e 4).

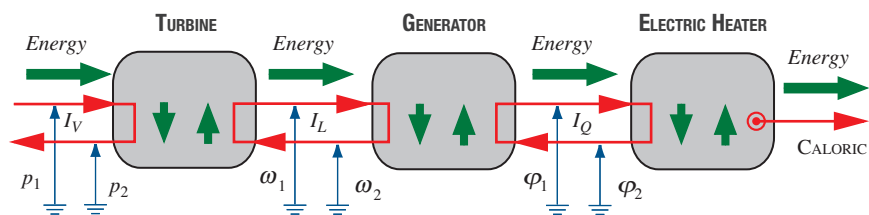


Figura 3: I processi a catena spiegano perché crediamo abbia senso pensare che l'energia possa essere trasferita: l'energia resa disponibile sarà fornita e l'energia usata sarà portata via da un dispositivo in cui le forze della natura interagiscono.

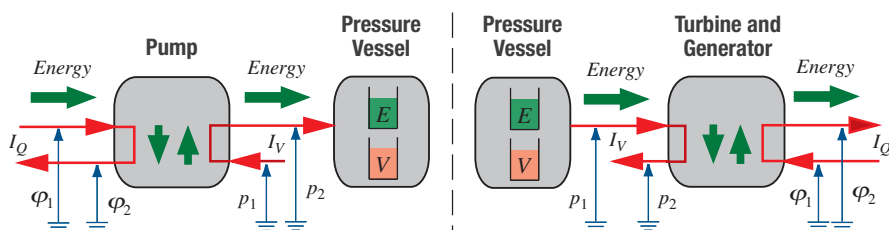


Figura 4: Ci sono dispositivi (i laghi artificiali, le batterie, le molle, i volani, i condensatori elettrici) che ricevono energia, ma che non devono trasferirla immediatamente. Essi possono essere usati in un secondo momento per far funzionare una nuova catena di processi.

Processi ideali e non ideali

In contrasto con quanto raffigurato nei diagrammi di processo precedenti, un singolo processo può provocare più di uno conseguente. Spessissimo, un processo desiderato è accompagnato da un secondo processo, che consiste nella produzione di calorico (calore). Quando l'energia è usata per produrre calorico (calore), si dice che è dissipata. Nella vita quotidiana, parliamo di energia *persa* o *consumata*.

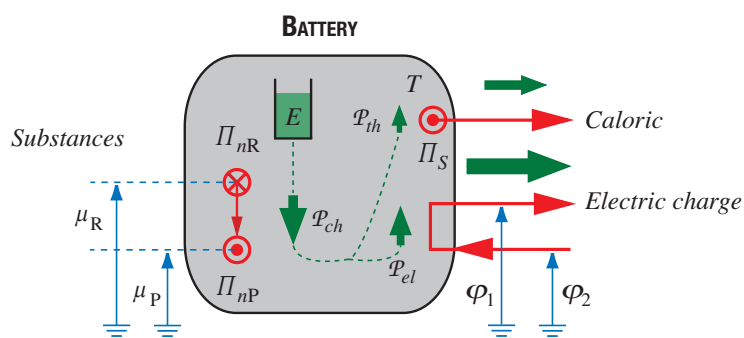


Figura 5: Diagramma di processo di una batteria reale. Una batteria è un dispositivo che quando è in funzione, le sostanze chimiche al suo interno eseguono una reazione chimica e rilasciano energia (provocano una tensione e rendono disponibile energia): delle sostanze chimiche scompaiono e altre sostanze vengono prodotte. Idealmente, l'energia resa disponibile è usata per pompare quantità di elettricità (carica elettrica) ad alto potenziale. In realtà, una certa percentuale dell'energia disponibile deve essere usata per eseguire il processo di produzione di calorico.

Sappiamo che i motori reali non sono mai efficienti come vorremmo. Questa inefficienza ha a che fare con il fatto che una parte dell'energia resa disponibile per eseguire un processo è deviata per produrre calorico (calore). I dispositivi reali hanno un'efficienza minore del 100%. La Figura 5 mostra il diagramma di processo di una batteria reale.

Esempio di metafore nei diagrammi di processo

Creiamo ora una rappresentazione metaforica visiva di un sistema chimico abbastanza complesso: un generatore termoelettrico (una cella Peltier) usata per far girare un volano (Figura 6). Per fare ciò abbiamo bisogno di sorgenti (ad alta temperatura) che forniscano e sorgenti (a bassa temperatura) che assorbano calorico (calore), e di un motore elettrico. Per semplicità, assumeremo la cella Peltier e il motore come dispositivi ideali – che vuol dire che non producono calorico, cioè, non dissipano energia.

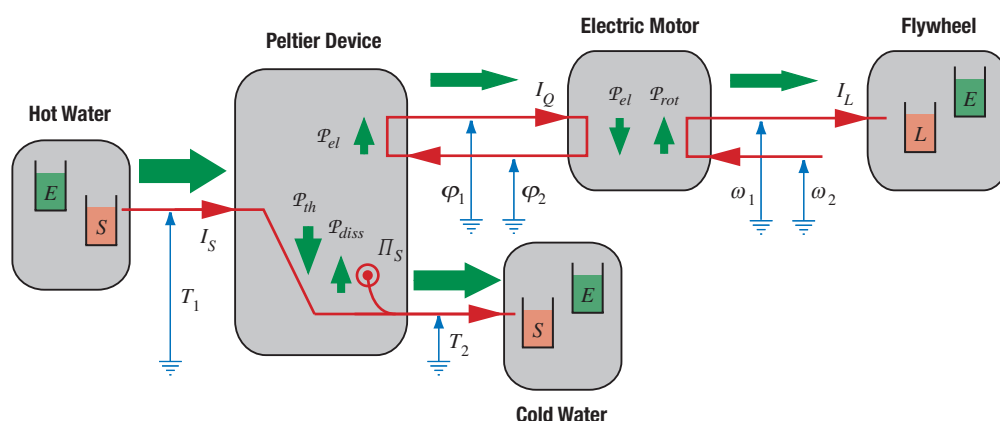


Figura 6: Diagramma dei processi combinati di un generatore termoelettrico che fa funzionare un motore elettrico che fa girare un volano, il quale accumula rotazione (momento angolare) e energia.

Questo sistema mostra come interagiscono varie forze della natura e possono essere rappresentate con l'aiuto di metafore visive. La catena di processi incomincia con del calorico che fluisce da un elemento di immagazzinamento di calore (ad esempio dell'acqua calda). Se facciamo sì che il calorico fluisca *all'ingiù* attraverso la cella Peltier dall'acqua calda a una sorgente fredda (acqua fredda), renderà disponibile dell'energia per far funzionare il processo successivo. Usando più immagini metaforiche, il calorico è come uno fantasma che inizialmente è teso (ad alta temperatura). Quando fa il lavoro di far funzionare il processo successivo, "si sgonfia" o "si rilassa", cioè "raggiunge uno stato basso".

Il processo successivo è elettrico: il "fantasma del calorico" con la sua potenza spinge l'elettricità "all'insù". L'elettricità ora è un nuovo fantasma ad alta tensione che fluirà verso il motore elettrico, fluirà giù, si distenderà, a metterà la sua energia a disposizione per il successivo fantasma che è la rotazione (momento angolare).

Questo terzo fantasma viene pompato in uno stato ad alta tensione (velocità angolare), fluisce nella ruota, la fa girare, e vi rimane – finché successivamente non viene utilizzato per far funzionare un ulteriore processo.

2. LA VALIGIA ERGOLANDIA

Il progetto Max's Worlds

Max's Worlds è progetto con caratteristiche distintive e peculiari che si propone di sviluppare, sulla base della ricerca didattica, materiali per l'educazione scientifica nella scuola dell'infanzia, primaria e secondaria di primo grado in un'ottica di curriculum verticale.

Esso prevede l'affronto di diversi temi con un *approccio analogico e narrativo* (Corni, 2013) in cui i concetti elementari sono identificati e sviluppati in contesti più semplici e vicini all'esperienza (ad esempio l'acqua) e fatti risuonare in modo coerente negli altri contesti più complessi in cui all'esperienza occorre associare entità astratte (ad esempio l'elettricità, il calore, il moto, le rotazioni, le sostanze chimiche, la gravità, ecc.).

Il *linguaggio è quello naturale*, alla portata degli alunni delle varie fasce di età, in cui i termini scientifici specifici non sono introdotti a priori, ma sono da conquistare da parte degli alunni al termine di un percorso personale di riflessione sull'esperienza guidato dall'insegnante.

I molteplici e adattabili percorsi che gli insegnanti possono progettare utilizzando i materiali di Max's Worlds hanno come orizzonte finale quello della costruzione del concetto di *energia*, unificatore delle varie branche delle scienze, indispensabile per una corretta conoscenza e consapevolezza della natura della scienza.

Max's Worlds si compone di *valigie didattiche* tematiche accomunate da un metodo di indagine e di costruzione bottom-up dei significati scientifici. Gli insegnanti, a cui sono offerte occasioni di formazione presso la Facoltà di Scienze della Formazione, possono richiedere liberamente le valigie e utilizzarle a scuola per un opportuno periodo di tempo.

Le valigie contengono materiali di vario tipo: materiali per esperimenti didattici dalla cattedra, materiali hands-on per il lavoro in gruppo degli alunni, materiali per il gioco, software, ecc. Si possono prevedere molteplici attività a fianco di quelle di contenuto più scientifico, orientate alla costruzione dei significati a partire dal corpo e dal movimento (giochi di ruolo, attività in palestra o all'aperto, ecc.), dal gioco (giochi di ruolo, giochi di simulazione, ecc.), dalla discussione (lavoro a gruppi, discussione guidata dall'insegnante, domande stimolo), dalla creatività (disegno, drammatizzazione, ecc.). I materiali sono corredati da *storie e narrazioni*, in accordo con la teoria di Egan (2012) della comprensione multipla e degli strumenti cognitivi a disposizione degli alunni nelle varie fasi dello sviluppo del linguaggio.

Il contenuto della valigia Ergolandia

La valigia, mostrata in Figura 7, è pensata per agli alunni di scuola dell'infanzia, primaria e secondaria di primo grado, e prevede un percorso verticale e a lungo termine per favorire lo sviluppo e l'appropriazione delle principali immagini metaforiche alla base del concetto di energia. In questo articolo verranno descritti alcuni materiali didattici offerti dalla valigia Ergolandia orientati alle metafore visive e ai concetti sopra introdotti.



Figura 7: La valigia Ergolandia esposta al Congresso “Educazione Terra Natura. Io corpo, io racconto, io emozione.” – Bressanone, 30 Novembre-2 Dicembre 2018.

Video Perpetuum Mobile

Si tratta di un’animazione, originalmente prodotta da Deichmann (2014), che descrive, con linguaggio figurato e altamente metaforico, una macchina progettata per funzionare da sola all’infinito, mettendo in evidenza le motivazioni scientifiche per cui non può esistere. La macchina e lo sfondo sono semi-statici e in bianco e nero, mentre le forze della natura agenti nella macchina sono rappresentate in sovrapposizione come fantasmini colorati e animati (Figura 8).

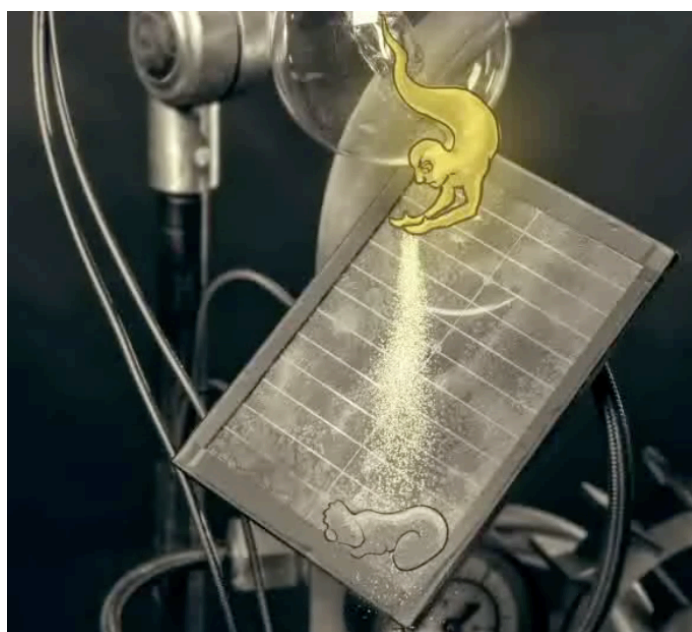


Figura 8: Fotogramma del video *Perpetuum Mobile*. La luce (fantasmino giallo) rende disponibile energia (polverina bianca) per l’elettricità (fantasmino dormiente che, una volta

assorbita l'energia, diventa ciano) nel pannello fotovoltaico. La polvere gialla in parte esce dal ciclo (assorbita dal calore).

Le forze della natura presenti sono: la luce, l'elettricità, l'acqua e la quantità di moto. L'energia è rappresentata visivamente con una polverina che i fantasmini si passano in corrispondenza del pannello fotovoltaico (luce e elettricità), della pompa idraulica (elettricità e acqua), della ruota idraulica (acqua e quantità di moto), del generatore (quantità di moto e elettricità), infine della lampadina (elettricità e luce), chiudendo così un ciclo (presupposto) infinito di scambi a catena di energia. La storia raccontata dal video veicola l'idea che gli scambi di energia non sono mai ideali: tutte le volte che l'energia viene trasferita da un fantasma a un altro, una parte di essa si perde e, a lungo andare, non ne rimane abbastanza per continuare a far funzionare la sequenza di processi. L'energia persa provoca la formazione di calore e deve continuamente essere rimpiazzata da nuova energia proveniente da una sorgente esterna al ciclo, che nel video è rappresentata dal sole.

Carte iconiche delle forze della natura

In ogni valigia sono presenti 4 mazzi di 84 carte plastificate raffiguranti iconicamente 14 forze della natura (calore, acqua calda, aria calda, acqua in pressione, aria in pressione, moto, acqua in movimento, aria in movimento, rotazione, elettricità, alimenti, combustibili, luce e peso). Il numero di forze della natura è appositamente grande per comprendere il maggior numero possibile di forze dell'esperienza quotidiana. Nel tempo, gli alunni possono riflettere e riconoscere che queste forze della natura si possono ridurre a 8, effettivamente di diversa natura (calore, fluidi, moto, rotazione, elettricità, sostanze chimiche, luce, massa gravitazionale).

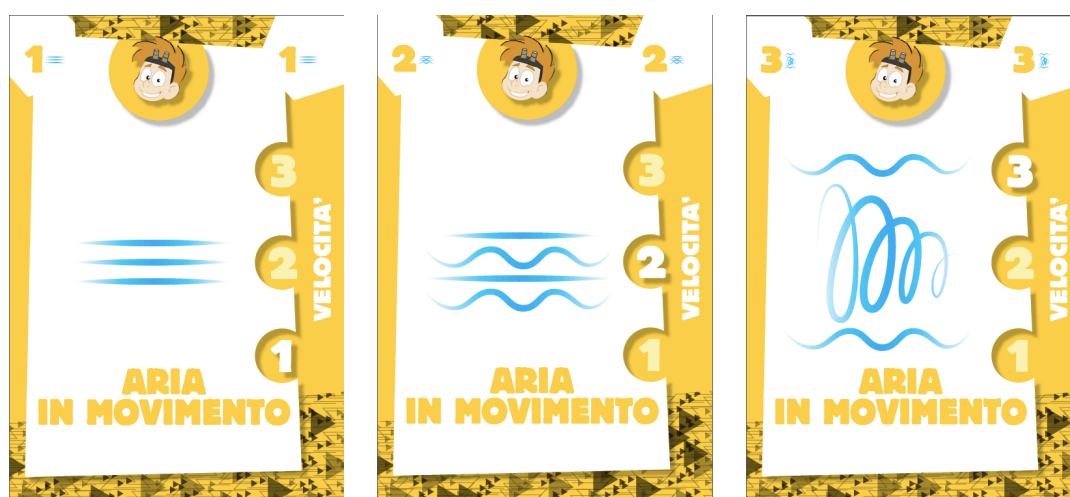


Figura 9: Esempio di carte della forza della natura “Aria in movimento”. Per ogni forza della natura, sono previste 8 carte: 3 di livello di intensità 1, 2 di livello 2 e 1 di livello 3.

Su ogni carta, la forza della natura è nominata, nel suo aspetto quantitativo, in orizzontale, e nel suo aspetto qualitativo, in verticale, ad indicare, anche visivamente, una scala verticale da 1 a 3 (Figura 9). Queste carte sono pensate per eseguire diversi giochi, sia di movimento che da tavolo, da parte degli alunni di qualsiasi età. I giochi non devono necessariamente essere di tipo “scientifico” o richiamare esplicitamente l'energia: sono le regole e le configurazioni, proposte dall'insegnante o anche dagli

alunni stessi, che, in misura minore o maggiore, veicolano le metafore visive dell'energia.

Carte per diagrammi di processo

Si tratta di carte raffiguranti icone generiche delle forze della natura e dei dispositivi adibiti al trasferimento dell'energia tra forze della natura. Gli alunni possono utilizzare queste carte per discutere e modellizzare le catene di processi che avvengono in semplici giocattoli presenti nella valigia Ergoladia, o, più in generale, in oggetti tecnologici o in fenomeni naturali di esperienza quotidiana o di studio, come ad esempio l'asciugacapelli, l'automobile, la fotosintesi clorofilliana, la circolazione del sangue, ecc. Le catene che si possono rappresentare sono come quelle di Figura 3, 4 e 6, con icone semplificate simili a quelle di Figura 1 e 5.

Per favorire una più ricca e ampia riflessione fra gli alunni e con gli insegnanti, le metafore visive relative alle forze della natura sono differenziate in 5 tipi (Figura 10) a seconda del carattere delle forze e quelle relative ai dispositivi in 2 categorie (Figura 11). Le forze della natura infatti possono essere di tipo conservato – la loro quantità totale nell'Universo è costante nel tempo e la loro variazione in un certo luogo è quindi accompagnata da una variazione di segno opposto in un altro luogo (ad esempio la quantità di moto o la carica elettrica) – o di tipo non conservato (ad esempio la luce che può essere creata in una lampadina e distrutta da una superficie nera o da una foglia con la fotosintesi, o il calore che può essere prodotto nei processi non ideali, ma mai distrutto). Le forze di entrambi i tipi possono essere recuperate dall'ambiente o versate in ambiente.

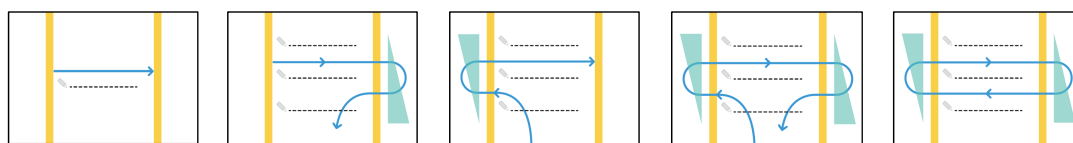


Figura 10: *Icone relative alle diverse tipologie di forze della natura agenti nei processi reali. Da sinistra a destra: forza creata e distrutta; forza creata e versata; forza recuperata e distrutta; forza recuperata e versata; forza a ciclo chiuso.*

I dispositivi, i “luoghi” in cui le forze della natura mettono a disposizione/liberano e assorbono/utilizzano l'energia possono permettere il trasferimento in modo immediato (ad esempio una dinamo che attiva l'elettricità non appena viene messa in rotazione) o possono accumulare forze della natura e con esse energia, per poi rilasciarla in un secondo momento (ad esempio le batterie accumulano sostanze chimiche – e quindi energia – per poi, successivamente, generare corrente elettrica). Ci sono quindi due categorie di dispositivo: immediato o ad accumulo (Figura 11).

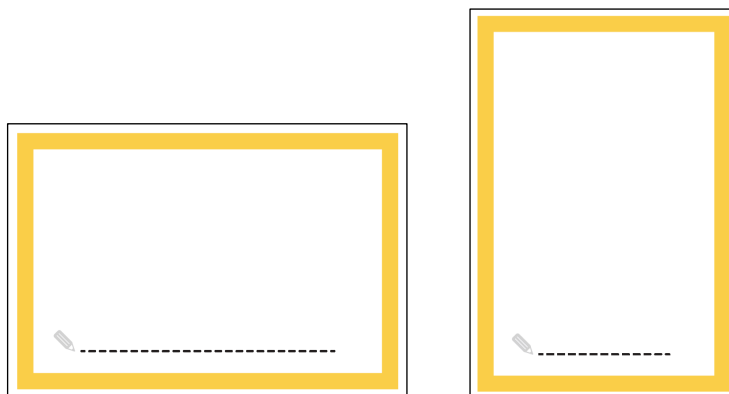


Figura 11: *Icone relative alle diverse categorie di dispositivo: a trasferimento immediato (sinistra) e ad accumulo (destra).*

Software per diagrammi di processo

E' la versione digitale delle carte. Esso, tramite una lavagna digitale quadrettata e un menù dal quale gli alunni possono scegliere i simboli per le forze della natura e quelli per i dispositivi, permette in modo semplice e con tutti i vantaggi dell'uso del computer, di costruire, discutere, condividere, ampliare e modificare catene di processi.

In Figura 12 è riportato l'esempio di come si può rappresentare la catena di processi di Figura 6.

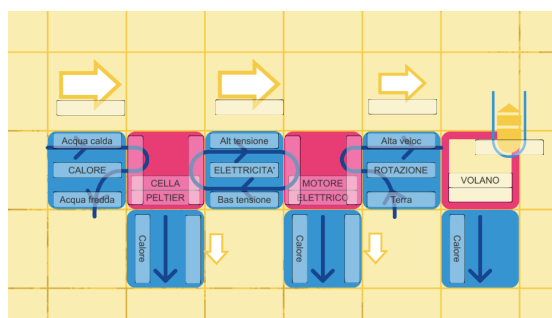


Figura 12: *Diagramma dei processi di Figura 6 eseguito col software per diagrammi di processo della valigia Ergolandia.*

Sommario

Abbiamo mostrato come è possibile scientificamente concettualizzare l'energia tramite le forze della natura, utilizzando le metafore di *quantità di fluido*, *tensione*, e *potenza*, e come queste metafore possono essere rese visivamente con una cascata e, più formalmente, con diagrammi di processo. Abbiamo poi descritto alcuni materiali della valigia Ergolandia, evidenziando come essi incorporino queste metafore e facendo intuire come gli insegnanti di diversi gradi scolastici, opportunamente formati, possano utilizzarli per l'educazione scientifica degli alunni.

Bibliografia

Carnot S. (1872), *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Annales scientifiques de l'É.N.S. 2a série, tome 1, p. 407.

Deichmann M. (2014), Tesi di laurea: *Im übertragenen Sinne. Metaphern und Bildvergleiche in der Wisserschaft*, Zürcher Hochschule der Künste, Zurich.

Fuchs H. U. (2010), *The Dynamics of Heat*, Seconda Edizione, Springer, New York.

Egan K. (2012), *La comprensione multipla. Sviluppare una mente somatica, mitica, romantica, filosofica e ironica*, Erickson, Trento.

Corni F. (a cura di) (2013), *Le scienze nella prima educazione. Un approccio narrativo a un curriculum interdisciplinare*, Erickson, Trento.